Bourse industrielle de doctorat CIFRE à Michelin et Mines Paristech

En traitement d'images

Contact: Beatriz Marcotegui, Beatriz.Marcotegui@mines-paristech.fr

Automatisation de la segmentation d'épures constats par des techniques de recalage non rigide et de segmentation de textures sous contraintes.

Contexte industriel :

L'impact des pneumatiques sur la consommation de carburant est un sujet de préoccupation majeur pour Michelin. Afin d'optimiser la performance énergétique de ses pneumatiques, de nombreuses études de recherche sont menées par Michelin, notamment sur l'architecture des produits et de ses constituants internes.
De par l'impact de la masse sur la résistance au roulement, l'allègement des pneumatiques et la diminution des épaisseurs individuelles des produits est l'une des pistes privilégiée. Il est donc crucial de disposer de mesures précises et répétables de cette architecture des pneumatiques afin d'alimenter les simulations, modèles de prédictions et optimiser le processus de conception.

Objectifs de la thèse:

Développer des techniques de traitements d'images qui permettent une détection détaillée de ces produits et de leurs interfaces. L'automatisation de cette segmentation reste un challenge du fait de la nature des produits, pour la grande majorité de compositions très proche. Cela passe donc nécessairement par l'utilisation de techniques combinant l'utilisation d'informations a priori (modèles d'architectures CAO par exemple), la modélisation de déformations permettant d'ajuster le modèle à l'acquisition puis l'utilisation de méthodes de segmentation avancées sous contraintes.

Mots-clés : traitement d'image, segmentation sous contraintes, morphologie mathématique.

Supervision Mines ParisTech : Beatriz Marcotegui, Etienne Decencière.
Supervision Michelin : Alexandre Joly.
Lieu de la thèse : Mines Paristech, Centre de morphologie Mathématique à Fontainebleau et partiellement à Michelin à Ladoux (Puy-du-Dôme).
Pre-requis : Master en traitement d'images.
Autres pré-requis : traitement d'images, programmation en python, matlab et C++.
Langues : Anglais et Français courants.

Pour plus d'information, contacter Beatriz Marcotegui, beatriz.marcotegui@mines-paristech.fr
Et http://cmm.mines-paristech.fr/positions.php

Sujet de thèse :

Automatisation de la segmentation d'épures constats par des techniques de recalage non rigide et de segmentation de textures sous contraintes.

Contexte industriel :

L'impact des pneumatiques sur la consommation de carburant est un sujet de préoccupation majeur pour Michelin. Afin d'optimiser la performance énergétique de ses pneumatiques, de nombreuses études de recherche sont menées par Michelin, notamment sur l'architecture des produits et de ses constituants internes.

De par l'impact de la masse sur la résistance au roulement, l'allègement des pneumatiques et la diminution des épaisseurs individuelles des produits est l'une des pistes privilégiée. Il est donc crucial de disposer de mesures précises et répétables de cette architecture des pneumatiques afin d'alimenter les simulations, modèles de prédictions et optimiser le processus de conception.

Pour ce faire, une détection détaillée de ces produits et de leurs interfaces doit être réalisée. Pour la grande majorité, l'automatisation de cette segmentation reste un challenge du fait de la nature des produits, tous de compositions très proches. Cela passe donc nécessairement par l'utilisation de techniques combinant l'utilisation d'informations a priori (modèles d'architectures CAO par exemple), la modélisation de déformations permettant d'ajuster le modèle à l'acquisition puis l'utilisation de méthodes de segmentation avancées sous contraintes.

Objectifs de la thèse :

Différentes études menées par Michelin en collaboration avec des partenaires externes spécialisés dans le traitement d'images, ont permis le développement d'outils d'aide à la construction de ces épures constats (qui correspondent à l'architecture telle que construite). Ces outils nécessitent encore de nombreuses interactions de la part d'opérateurs spécialisés et formés.

Une automatisation plus complète permettrait d'accélérer le processus, de réaliser des contrôles plus systématiques et réguliers donnant accès à des analyses statistiques robustes et rendrait la procédure reproductible et indépendante de l'opérateur.

Comme nous pouvons le constater sur les images ci-dessous, la texture joue un rôle prépondérant pour discriminer les différents produits. Ces textures sont notamment dues au frottement de la scie avec les matériaux lors de la phase de découpe des pneumatiques.

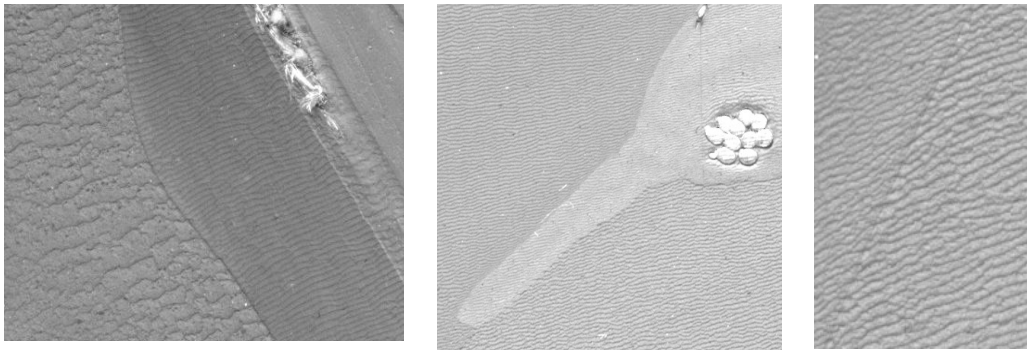

Figure 1 : Imagettes issues de coupes de pneus, représentatives de la problématique de cette thèse.

Pour les textures bien différenciées visuellement nous chercherons à automatiser complètement le processus, en particulier si les textures du même produit sont visuellement similaires sur les différentes coupes. En effet, si cette hypothèse est vérifiée, les conditions seront réunies pour apprendre les descripteurs de texture les plus adaptés au problème.

Pour les situations plus complexes, où les textures de part et d'autre de la frontière sont très proches ou si visuellement plusieurs textures apparaissent au sein d'un même constituant, des informations supplémentaires seront nécessaires. En effet, si les textures voisines sont visuellement très proches, comme par exemple celles de la troisième imagette de la Figure 1, le pouvoir discriminant des descripteurs de texture permettra difficilement de localiser la frontière entre elles.

Dans ce cas, plusieurs possibilités sont envisagées pour proposer une aide à l'operateur. Si l'épure théorique du pneu est connue, des techniques de recalage seront utilisées pour initialiser / contraindre le processus de segmentation.

Si l'épure théorique n'est pas connue, le recours à une procédure semi-automatique sera nécessaire : l'opérateur devra alors introduire manuellement des marqueurs pour chacune des régions d'intérêt. L'utilisation du résultat de segmentations précédentes peut également être proposée.

L'objectif de cette thèse est donc de mettre au point des méthodes d'analyse d'images pour rendre robuste la procédure de segmentation de coupes transversales de pneus, afin de réduire le temps de traitement de chaque analyse, d'obtenir des résultats plus précis et moins dépendants de l'opérateur. Des premiers résultats prometteurs ont été obtenus sur des cas simples lors d'une pré-étude réalisée par le CMM. L'analyse des résultats obtenus nous guident vers les axes de recherche que nous listons ci-dessous. Ces axes, non limitatifs, seront la base de développement de la thèse.

Objectifs scientifiques

Plusieurs axes de recherche seront abordés. Les 3 principales thématiques seront :

- Les méthodes de recalage non rigide

  Les méthodes de recalage souple sont multiples [SOTIRAS13]. Sur la base des travaux déjà réalisés en interne, l'utilisation des techniques de recalage souple par résolution d'un

système d'équations linéaires [Rouhani12] peut être optimisée. L'amélioration de la robustesse de cette phase de recalage pourrait se faire en intégrant des points d'intérêt [LI13].

La piste de l'ajout de contraintes supplémentaires dans la fonction de coût, au niveau de points caractéristiques spécifiques et reconnaissables devra être étudiée, notamment en y associant des termes de régulation correspondant à des niveaux de confiance liés à leurs natures.

- La segmentation de texture

Différents descripteurs classiques de texture seront étudiés : granulométries [MARAGOS89], filtres de Gabor [GABOR46, JAIN90], ondelettes [MALLAT89, UNSER95], Local Binary Pattern (LBP) [NANNI12], curvelets [CANDES99], gradients morphologiques de texture [ANGULO07],…

Plusieurs textures ont une nature striée. Des méthodes d'analyse de ce type de structure ont récemment été développées au CMM, comme par exemple les ouvertures par chemins parcimonieux [MORARD14] ou les profils d'attributs géodésiques [SERNA14]. Ces techniques seront adaptées pour en déduire des descripteurs de texture adaptés au problème.

Les descripteurs maximisant la différence entre les textures des différentes gommes pourront être appris [MARTIN04, CORD10]

Pour cela, un catalogue des différentes textures caractéristiques sera constitué. Il sera augmenté de manière incrémentale tout au long de la thèse.

- La segmentation sous contrainte

Différentes approches de la segmentation sous contrainte seront envisagées dans le cadre de cette thèse :

  - Utilisation du modèle recalé comme point de départ de la segmentation pour identifier les différents produits, initialiser la localisation / orientation des interfaces.
  - Utilisation du modèle recalé comme information a postériori pour l'utilisation de méthodes de fusions après sur-segmentation.
  - Utilisation d'un processus de minimisation globale et / ou locale d'une (plusieurs) fonction(s) de coût représentatives de l'écart entre le recalage et des descripteurs jugés significatifs de la répartition des produits.

Une première façon de contraindre la segmentation est donc de privilégier une certaine direction des interfaces, direction qui peut varier d'un point de l'image à un autre. Nous envisageons d'introduire un terme lié à l'orientation de la frontière dans l'algorithme de

minimisation d'énergie sous-jacent à une segmentation par coupe de graphes. La coupe de graphes s'appuierait alors sur le résultat d'une sur-segmentation plutôt que sur le graphe de pixels [STAWIASKI08], permettant une meilleure estimation de l'orientation de la frontière et accélérant le processus de minimisation qui est d'une complexité polynomiale avec le nombre de nœuds.

Caractérisation de la variabilité d'un template à partir d'un ensemble d'images issues d'un même type de pneu [VELASCO10]. Segmentation contrainte par un template, tenant compte de sa variabilité [CABEZAS11, SHAN14].

Les retombées seront multiples pour la société Michelin avec un gain significatif en efficacité et en pertinence des résultats de contrôle qualité. Pour le CMM les axes de recherche proposés sont riches d'un point de vue méthodologique et applicatif, compatibles avec la démarche scientifique d'une thèse. Par ailleurs, les avancées théoriques et applicatives de segmentation de texture et de recalage sous contrainte ont des applications potentielles dans beaucoup d'autres domaines et en particulier le domaine médical de grande importance pour le laboratoire.

Livrables

- Rapports intermédiaires semestriels détaillant les pistes explorées et les résultats obtenus pendant la période.
- T0+6 : Première version du logiciel basée sur les méthodes de recalage et de segmentation existants. Rapport décrivant le mode d'utilisation du logiciel
- T0+12 : Nouveaux descripteurs de texture adaptés au problème
- T0+24 : Méthode de caractérisation de la variabilité d'un ensemble d'images et nouvelle méthode de segmentation contrainte, tenant compte de sa variabilité.
- T0+36 : Version finale du logiciel de segmentation, mode d'emploi décrivant l'ensemble des paramètres et leur influence sur les résultats.
- T0+36 : Catalogue de textures représentatives et détail des descripteurs discriminants.
- T0+36 : Manuscrit de thèse, détaillant l'ensemble des travaux réalisés, un bilan des résultats obtenus et des pistes d'amélioration qui sembleraient les plus prometteuses.

Programme prévisionnel de la thèse

Première année

- Compréhension des contraintes métier
- Discussion avec les opérateurs qui réalisent la segmentation manuelle actuellement
- Bibliographie des techniques de segmentation de texture
- Bibliographie des techniques de recalage non rigide.
- Constitution d'un premier catalogue des textures à segmenter.

- Premières expérimentations de recalage et de segmentation de texture
- Mise au point de descripteurs texture adaptés aux échantillons réunis
- Reprise des méthodes existantes, mise en place de l'application de la déformée inverse, trouvée lors du recalage du théorique sur la coupe sur une première épure « manuelle », afin d'avoir les deux épures dans un même état d'équilibre et en en mesurer les écarts

Deuxième année

- Mise au point des méthodes de segmentation des textures avec une difficulté croissante
- Apprentissage des descripteurs de texture les plus discriminants pour les textures rencontrées
- Localisation automatique des points d'ancrage pour un recalage non rigide
- Mise au point d'une méthode robuste de recalage d'une épure constat et de son modèle théorique.
- Segmentation contrainte par un modèle théorique

Troisième année

- Présentation des nouveaux outils aux opérateurs
- Prise en compte de leur retour pour améliorer les résultats
- Mise au point d'une stratégie globale et identification des pistes d'amélioration
- Rédaction du manuscrit de thèse

Présentation du laboratoire

Le Centre de Morphologie Mathématique (CMM) est un centre de recherche en traitement d'image, commun à MINES ParisTech et ARMINES.

Depuis sa fondation en 1967, le CMM a contribué à la croissance et la propagation du corpus théorique et algorithmes de la morphologie mathématique. Ses activités s'articulent autour de l'enseignement, de la recherche et des collaborations avec l'industrie. Toujours motivée par les applications industrielles, la recherche au CMM a produit une expertise originale et efficace dans de nombreux domaines (multimédia, science des matériaux, électronique, biologie, médecine, contrôle industriel,etc). Dans ce contexte, le CMM a réalisé plusieurs études pour la société MICHELIN et en particulier une pré-étude qui débouche sur la demande de cette bourse CIFRE. Ces domaines d'application très larges fournissent un riche terrain d'expérimentation pour le développement de nouveaux concepts et outils.

La CMM a capitalisé son expertise par le biais de bibliothèques logicielles communes à tous les chercheurs. Ces bibliothèques, fournissant des outils de pointe pour le filtrage, la segmentation et l'extraction de caractéristiques, serviront de base pour la mise en œuvre des algorithmes requis pour le projet.

ARMINES emploie environ 500 personnes et gère les aspects administratifs et juridiques de contrats de recherche de 60 laboratoires associés à diverses institutions.

Références

[SOTIRAS13] A. Sotiras, C. Davatzikos, and N. Paragios (2013) Deformable medical image registration: a survey, IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 32, no. 7, pp. 1153-1190.

[ROUHANI12] M. Rouhani and A. D. Sappa. Non-rigid shape registration : A single linear least squares framework. (2012), In Computer Vision - ECCV 2012, volume 7578 of Lectures Notes in Computer Science, pages 264–277

[LI13] Li, Z., & Kurihara, T. (2013). Deformable Registration Combined with 3D SIF T Matching and Moving Least Squares. Proc. Fifth International Wo rkshop on Pulmonary Image Analysis.

[ANGULO07] J. Angulo."Morphological texture gradients. Application to colour+texture watershed segmentation". In Proc. of the 8th International Symposium on Mathematical Morphology (ISMM'2007), Rio de Janeiro, Brazil, October2007, p. 363—374.

[CABEZAS11] Cabezas, M., Oliver, A., Lladó, X., Freixenet, J., & Cuadra, M. B. (2011). A review of atlas-based segmentation for magnetic resonance brain images. Computer methods and programs in biomedicine, 104(3), 158-e177.

[CANDES99] Candes, E.J. & Donoho, D.L. (1999) Curvelets – a surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges. In Curve and Surface Fitting, vol. P879110 (ed. by A. Cohen, C. Rabut & L.L. Schumaker), pp. 1–16. Vanderbilt University Press, Nashville, TN, Saint-Malo Proceedings.

[CORD10] Cord A., Bach F., Jeulin D. (2010) Texture classification by statistical learning from morphological image processing. Application to metallic surfaces, Journal of Microscopy, 239, pp. 159-166.

[CORD07] Cord A., Jeulin D., Bach F. (2007) Segmentation of random textures by morphological and linear operators, Proc. ISMM2007, 8th International Symposium on Mathematical Morphology, Rio de Janeiro, Brazil, October 10-13 2007, Banon G., Barrera J., Braga-Neto U. (eds), ISBN 978-85-17-00032-4, pp. 387-398.

[GABOR46] D. Gabor, Theory of communication, JIEE 93 (3) (1946) 429-457.

[JAIN90] Jain, A. K., & Farrokhnia, F. (1990, November). Unsupervised texture segmentation using Gabor filters. In Systems, Man and Cybernetics, 1990. Conference Proceedings., IEEE International Conference on (pp. 14-19).

[KOLMOGOROV04] V. Kolmogorov, R. Zabin, What energy functions can be minimized via graph cuts ?, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on 26 (2) (2004) 147-159.

[MALLAT89] Mallat, S. G. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 11(7), 674-693.

[MARAGOS89] Maragos, P. Pattern spectrum and multiscale shape representation. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1989, 11(7), 701-716.

[MARTIN04] D.R. Martin, C.C. Fowlkes, J. Malik. Learning to Detect Natural Image Boundaries Using Local Brightness, Color , and Texture Cues. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 26 : 1-20, 2004

[MEYER90] F. Meyer, S. Beucher, Morphological segmentation, J. Visual Commun. Image Repres. 1 (1) (1990) 21-45.

[MORARD14] Morard, V., Dokládal, P., & Decenciere, E. (2014). Parsimonious path openings and closings. *IEEE Transactions on Image Processing*, *23*, 1543-1555.

[NANNI12] Nanni, L., Lumini, A., & Brahnam, S. (2012). Survey on LBP based texture descriptors for image classification. Expert Systems with Applications, 39(3), 3634-3641.

[SERNA14] A. Serna, B. Marcotegui, E. Decencière, Th. Baldeweck, A.M. Pena, S. Brizion. "Segmentation of elongated objects using attribute profiles and area stability: application to melanocyte segmentation in engineered skin". Pattern Recognition Letters, Volume 47, 1 October 2014, Pages 172-182.

[SHAN14] Shan, L., Zach, C., Charles, C., & Niethammer, M. (2014). Automatic atlas-based three-label cartilage segmentation from MR knee images. Medical image analysis, 18(7), 1233-1246.

[STAWIASKI08] J. Stawiaski, Mathematical morphology and graphs : Application to interactive medical image segmentation., Ph.D. thesis, Mines ParisTech (2008).

[VELASCO10] S. Velasco-Forero and J. Angulo."Statistical Shape Modeling using Morphological Representations". In Proc. of IEEE ICPR'10 (20th IEEE International Conference on Pattern Recognition) , Vol. ,--, Istanbul, Turkey, August 2010.

[WU93] Z. Wu, R. Leahy, An optimal graph theoretic approach to data clustering : Theory and its application to image segmentation, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on 15 (11) (1993) 1101-1113.

[UNSER95] Unser, M. (1995). Texture classification and segmentation using wavelet frames. Image Processing, IEEE Transactions on, 4(11), 1549-1560.